

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PRIORITY DOCUMENT
 SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
 COMPLIANCE WITH
 RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 05 NOV 2003
 WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
 einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 56 474.4

Anmeldetag: 3. Dezember 2002

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Steuern einer mit Kraftstoffdirekt-
 einspritzung arbeitenden Brennkraftmaschine

IPC: F 02 D 41/40

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
 ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 21. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Weber
 Wehnert



Beschreibung

Verfahren zum Steuern einer mit Kraftstoffdirekteinspritzung arbeitenden Brennkraftmaschine

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern einer mit einer Aufladevorrichtung versehenen und mit Kraftstoffdirekteinspritzung arbeitenden Brennkraftmaschine.

- 10 Brennkraftmaschinen mit Direkteinspritzung (DI, direct injection) beinhalten ein großes Potential zur Reduktion des Kraftstoffverbrauches bei relativ geringem Schadstoffausstoß. Im Gegensatz zur Saugrohreinspritzung wird bei einer Direkteinspritzung Kraftstoff mit hohem Druck direkt in die
15 Verbrennungsräume der Brennkraftmaschine eingespritzt.

Hierzu sind Einspritzsysteme mit zentralem Druckspeicher (Common-Rail) bekannt. In solchen Common-Rail-Systemen wird mittels einer Hochdruckpumpe ein vom elektronischen Steuergert 20 der Brennkraftmaschine über Drucksensor und Druckregler geregelter Kraftstoffdruck in der Verteilerleiste (Common-Rail) aufgebaut, der weitgehend unabhängig von Drehzahl und Einspritzmenge zur Verfügung steht. Über einen elektrisch ansteuerbaren Injektor wird der Kraftstoff in den Brennraum eingespritzt. Dieser erhält seine Signale von dem Steuergert. Durch die funktionelle Trennung von Druckerzeugung und Einspritzung kann der Einspritzdruck weitgehend vom aktuellen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine frei gewählt werden.

30

Es ist bekannt, zur Leistungs- und Drehmomentsteigerung von Brennkraftmaschinen eine Aufladeeinrichtung vorzusehen, welche die Ladungsmenge durch Vorverdichtung vergrößert. Dabei fördert ein Lader die Frischluft in den Zylinder der Brennkraftmaschine. Bei der mechanischen Aufladung wird der Verdichter direkt von der Brennkraftmaschine angetrieben (z.B. Kompressoraufladung), während bei einer Abgasturboaufladung

eine mit dem Abgas der Brennkraftmaschine beaufschlagte Turbine (Abgasturbine) einen im Ansaugtrakt der Brennkraftmaschine liegenden Verdichter antreibt.

- 5 Moderne Brennkraftmaschinen weisen zur Senkung der Ladungswechselverluste variable Ventiltriebe mit ein- und mehrstufiger oder stufenloser Variabilität auf. Die variable Ventilsteuerung der Ein- und Auslassventile bietet die Möglichkeit die Ventilsteuerzeiten innerhalb der physikalischen
- 10 Grenzen des vorhandenen Aktuatorprinzips (mechanisches System, hydraulisches Systemen, elektrisches Systemen, pneumatisches System oder eine Kombination der genannten Systeme) mehr oder weniger frei einzustellen. Dadurch können Verbrauchseinsparungen, niedrigere Rohemissionen und ein höheres Drehmoment erreicht werden.
- 15

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem die Betriebsweise einer mit Aufladung betriebenen und mit Kraftstoffdirekteinspritzung arbeitenden, 20 einen variablen Ventiltrieb aufweisenden Brennkraftmaschine verbessert werden kann.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gelöst, wie es in Anspruch 1 definiert ist.

25 Vorteilhafte Weiterführungen des erfindungsgemäßen Verfahrens bilden den Gegenstand der Unteransprüche.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die den Brennräumen der Brennkraftmaschine zugeführte Luft mittels einer Aufladevorrichtung (25, 26) vorverdichtet und mittels einer variablen Nockenwellenverstellung die Ventilüberschneidung der Gaswechselventile der Brennkraftmaschine eingestellt. Die zu einem homogenen Betrieb ($\lambda_{\text{Bda}} = 1$ Betrieb) der Brennkraftmaschine benötigte Kraftstoffeinspritzmenge wird ermittelt und direkt in die Brennräume der Brennkraftmaschine eingespritzt wird, wobei diese Kraftstoffeinspritzmenge in zwei

Teilmengen aufgeteilt wird. Eine erste Teilmenge wird in den Ansaugtakt und eine zweite Teilmenge in den Kompressionstakt eingespritzt. Das Aufteilungsverhältnis zwischen den beiden Teilmengen wird abhängig von dem Lastbereich der Brennkraftmaschine festgelegt.

Bei einem mit homogenen Gemisch betriebenen Ottomotor mit Kraftstoffdirekteinspritzung, im folgenden vereinfacht als DI- Ottomotor bezeichnet, kann über eine Aufteilung der Gesamt-Kraftstoffeinspritzmenge, - jeweils eine Teileinspritzung in den Ansaug- und Kompressionstakt-, die erzielbare Leistung sowie der Kraftstoffverbrauch positiv beeinflusst werden.

Die in den Kompressionstakt abgesetzte zweite Einspritzmenge entzieht dem Gemisch Verdampfungswärme, was über eine Veränderung der Ladungstemperatur zum Zündzeitpunkt die maximale Verbrennungstemperatur und dadurch auch die Tendenz zur klopfenden Verbrennung vermindert. Auf diese Weise kann der Zündwinkel in Bereiche eines höheren motorischen Wirkungsgrades in „Richtung früh“ verstellt werden.

Eine aufgeladene, mit homogenem Gemisch ($\lambda = 1$) betriebene DI-Brennkraftmaschine bietet zudem im volllastnahen Betrieb die Möglichkeit, Frischluft direkt in den Abgaskrater zu spülen. Voraussetzung dazu sind ein positives Druckgefälle zwischen Ein- und Auslassseite zum Zeitpunkt des Ladungswechsel OT (Oberer Totpunkt) sowie eine ausreichende Ventilüberschneidung zwischen Auslass- u. Einlassventil.

Durch die direkte Einspritzung von Kraftstoff in den Brennraum der Zylinder ist sichergestellt, dass der Beginn der Einspritzung nach dem Schließen des Auslassventils erfolgt. Es wird so nur Frischluft ohne Kraftstoff zur Abgasseite gespült.

Durch die zusätzliche Spülung wird bei einem Abgasturbolader der Massenstrom durch die Turbine erhöht, wodurch sich das

transiente Verhalten u. auch die erzielbare Maximalleistung erhöht. Durch die erhöhte Turbinenleistung fördert auch der mit der Turbine gekoppelte Verdichter eine höhere Luftmenge. Die Grenze stellt dabei das sogenannte Schluckverhalten der 5 Brennkraftmaschine dar.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird nachfolgend anhand eines Beispiels näher erläutert. Es zeigt:

- 10 Fig. 1 ein stark vereinfachtes Blockschaltbild einer aufgela-
denen und mit Kraftstoffdirekteinspritzung arbeitenden
Brennkraftmaschine, bei der das erfindungsgemäße Ver-
fahren angewandt wird und
- 15 Fig. 2 ein Diagramm für den Verlauf des Druckes im Zylinder
abhängig von dem Kurbelwellenwinkel.

In Figur 1 ist in Form eines Blockschaltbildes eine aufgela-
dene Otto - Brennkraftmaschine 10 mit Kraftstoffdirektin-
20 spritzung und einer ihr zugeordneten Abgasnachbehandlungsan-
lage gezeigt. Dabei sind nur diejenigen Komponenten darge-
stellt, die für das Verständnis der Erfindung notwendig sind.
Insbesondere ist auf die Darstellung der Zündanlage, des
Kraftstoffkreises und des Kühlkreislaufes verzichtet worden.

25 Über einen Ansaugkanal 11 erhält die Brennkraftmaschine 10
die zur Verbrennung notwendige Frischluft. Die zugeführte
Frischluft strömt durch einen Luftfilter 12, einen Luftmas-
senmesser 13 und einen Ladeluftkühler 14 zu einem Drossel-
30 klappenblock 15. Der Drosselklappenblock 15 beinhaltet eine
Drosselklappe 16 und einen nicht dargestellten Drosselklap-
pensensor, der ein dem Öffnungswinkel der Drosselklappe 16
entsprechendes Signal abgibt. Bei der Drosselklappe 16 han-
delt es sich beispielsweise um ein elektromotorisch angesteu-
erte Drosselorgan (E-Gas), dessen Öffnungsquerschnitt neben
35 der Betätigung durch den Fahrer (Fahrerwunsch) abhängig vom

Betriebsbereich der Brennkraftmaschine über entsprechende Signale einer Steuerungseinrichtung 17 einstellbar ist. Der Lüftmassenmesser 13 dient bei einer sogenannten luftmassengeführten Steuerung der Brennkraftmaschine als Lastsensor, dessen Ausgangssignal MAF_KGH zur weiteren Verarbeitung der Steuerungseinrichtung 17 zugeführt wird.

Die Brennkraftmaschine 10 weist eine Kraftstoffzumesseinrichtung 18 auf, der Kraftstoff KST unter hohem Druck zugeführt wird und die eine der Zylinderanzahl der Brennkraftmaschine entsprechende Anzahl von Einspritzventilen beinhaltet, welche über entsprechende Signale von Einspritzendstufen angesteuert werden, die vorzugsweise in der elektronischen Steuerungseinrichtung 17 der Brennkraftmaschine integriert sind. Über die Einspritzventile wird Kraftstoff direkt in die Zylinder der Brennkraftmaschine 10 eingespritzt. Die Einspritzventile werden dabei in vorteilhafter Weise aus einem Kraftstoffdruckspeicher (Common Rail) mit Kraftstoff versorgt. Die von einem Einspritzventil eingespritzte Kraftstoffmenge ist mit MFF bezeichnet. Ein Drucksensor 19 an der Kraftstoffzumesseinrichtung 18, erfasst den Kraftstoffdruck FUP, mit dem der Kraftstoff direkt in die Zylinder der Brennkraftmaschine eingespritzt wird.

Ausgangsseitig ist die Brennkraftmaschine 10 mit einem Abgaskanal 20 verbunden, in dem ein Abgaskatalysator 21 angeordnet ist. Dabei kann ein Dreiwege-Katalysator oder ein NOx-Speicherkatalysator oder eine Kombination der beiden vorgesehen sein. Die Sensorik für die Abgasnachbehandlung beinhaltet u.a. einen stromaufwärts des Abgaskatalysators 21 angeordneten Abgasmessaufnehmer in Form einer Lambdasonde 22.

Mit dem Signal λ_{ex} der Lambdasonde 22 wird das Gemisch entsprechend der Sollwertvorgaben geregelt. Diese Funktion übernimmt eine an sich bekannte Lambdaregelungseinrichtung 23, die vorzugsweise in die, den Betrieb der Brennkraftmaschine steuernde bzw. regelnde Steuerungseinrichtung 17 integriert

ist. Solche elektronischen Steuerungseinrichtungen 17, die in der Regel einen oder mehrere Mikroprozessoren beinhalten und die neben der Kraftstoffeinspritzung und der Zündungsregelung noch eine Vielzahl weiterer Steuer- und Regelaufgaben übernehmen, sind an sich bekannt, so dass im folgenden nur auf den im Zusammenhang mit der Erfindung relevanten Aufbau und dessen Funktionsweise eingegangen wird. Insbesondere ist die Steuerungseinrichtung 17 mit einer Speichereinrichtung 24 verbunden, in der u.a. verschiedene Kennfelder und Schwellenwerte gespeichert sind, deren Bedeutung noch erläutert wird.

Zur Erhöhung der Zylinderfüllung und damit zur Leistungssteigerung der Brennkraftmaschine 10 ist eine Aufladevorrichtung in Form eines an sich bekannten Abgasturboladers vorgesehen, dessen Turbine 25 im Abgaskanal 20 angeordnet ist und über eine strichliert dargestellte, nicht näherbezeichnete Welle mit einem Verdichter 26 im Ansaugkanal 11 in Wirkverbindung steht. Somit treiben die Abgase die Turbine 25 und diese wiederum den Verdichter 26 an. Der Verdichter übernimmt das Ansaugen und liefert der Brennkraftmaschine eine vorverdichtete Frischladung. Der stromabwärts des Verdichters 26 liegende Ladeluftkühler 14 führt die Verdichtungswärme über den Kühlmittelkreislauf der Brennkraftmaschine ab. Dadurch kann die Zylinderfüllung weiter verbessert werden. Parallel zu der Turbine 25 ist eine Umgehungsleitung (Bypassleitung) 27 vorgesehen, die über ein sogenanntes Wastegate 28 unterschiedlich weit geöffnet werden kann. Hierdurch wird ein unterschiedlich großer Teil des Massenstroms aus der Brennkraftmaschine an der Turbine 25 vorbeigeleitet, so dass der Verdichter 26 des Abgasturboladers unterschiedlich stark angetrieben wird.

Ein Temperatursensor 29 erfasst ein der Temperatur der Brennkraftmaschine entsprechendes Signal, in der Regel die Kühlmitteltemperatur TCO. Ein Drehzahlsensor 30 erfasst die Drehzahl N der Brennkraftmaschine. Beide Signale werden der Steuerungseinrichtung 17 zur weiteren Verarbeitung zugeführt.

- Ein Klopfsensor 32 erfasst die charakteristischen Klopf-
schwingung in dem Verbrennungsraum und gibt ein entsprechen-
des Signal KNKS an eine Klopfregelungseinrichtung 33 ab, die
5 vorzugsweise in die Steuerungseinrichtung 17 integriert ist.
Dabei kann eine der Zylinderzahl der Brennkraftmaschine 10
entsprechende Anzahl von Klopfsensoren oder nur ein einziger
Klopfsensor vorgesehen sein.
- 10 Ferner weist die Brennkraftmaschine 10 eine Einrichtung 31
auf, mit deren Hilfe die Ventilüberschneidung der Einlassven-
tile und der Auslassventile eingestellt und geändert werden
kann. Solche variable Ventilsteuерungen können mit mechani-
schen Systemen, hydraulischen Systemen, elektrischen Syste-
15 men, pneumatischen Systemen oder durch eine Kombination der
genannten Systeme realisiert werden. Dabei kann zwischen so-
sogenannten vollvariablen (stufenlosen) Ventiltrieben und
Systemen mit in Stufen einstellbaren Ventiltrieben unter-
schieden werden.
- 20 Die zur Verbrennung nötige Kraftstoffeinspritzmenge MFF wird
in herkömmlicher Weise aus einem Lastparameter, nämlich der
angesaugten Luftmasse MAF_KGH und der Drehzahl N berechnet
und mehreren Korrekturen (Temperatureinfluss, Lambdaregler,
usw.) unterworfen.
- Die gesamte, so ermittelte Kraftstoffeinspritzmenge MFF wird
in zwei Einspritzvorgänge aufgeteilt. Eine erste Kraftstoff-
menge MFF_1 wird in den Ansaugtakt abgesetzt, wohingegen eine
30 zweite Kraftstoffmenge MFF_2 in den Kompressionstakt einge-
bracht wird. Es gilt: $MFF = MFF_1 + MFF_2$.
- 35 Dieser Vorgang ist für einen ausgewählten Zylinder in der Fi-
gur 2 dargestellt. Das Diagramm zeigt den Druckverlauf in ei-
inem Zylinder einer 4-Takt-Otto-Brennkraftmaschine in Abhängig-
keit des Kurbelwellenwinkels in °KW. Auf der Abszisse ist zu-
sätzlich der Ansaugtakt, der Kompressionstakt und der Ar-

beitstakt eingetragen. Der Ausschiebetakt ist weggelassen.
Mit den Bezugszeichen EOI_1 ist das Ende der Einspritzung in
den Ansaugtakt, mit dem Bezugszeichen EOI_2 das Ende der Ein-
spritzung in den Kompressionstakt bezeichnet. Der obere Tot-
punkt ist mit TDC (Top Dead Center) bezeichnet.

Die erste Kraftstoffeinspritzmenge MFF_1 sorgt bei entspre-
chend gewähltem Einspritzende EOI_1 für eine Kraftstoffver-
dampfung während Frischluft in den Zylinder strömt. Die zur
Kraftstoffverdampfung erforderliche Wärme wird der einströ-
menden Luft entzogen, wodurch über eine Steigerung der La-
dungsdichte der Liefergrad erhöht wird. Wird die gesamte
Kraftstoffmenge MFF mit der ersten Einspritzung abgesetzt, so
ergibt sich der höchste Liefergrad.

Die während des Kompressionstaktes eingebrachte Kraftstoff-
menge MFF_2 entzieht bei entsprechend angepasstem Einspritzende EOI_2 dem sich in der Kompressionsphase befindlichen
Luft-Kraftstoffgemisch Wärme durch Verdampfung. Es vermindert
sich die Ladungstemperatur zum Zündzeitpunkt und dadurch auch
die maximale Verbrennungstemperatur. Über eine Reduktion der
maximalen Verbrennungstemperatur nimmt die Klopfneigung ab
und es kann ein Zündwinkel für eine günstigere Verbrennungs-
schwerpunktlage (früher Zündzeitpunkt) eingestellt werden.
Eine Steigerung der Kraftstoffmenge MFF_2, bis zu den durch
Gemischaufbereitungszeiten vorgegebenen Grenzen, erhöht den
Effekt der internen Ladungskühlung. Bei der Einspritzung in
den Kompressionstakt stehen nur relativ kurze Gemischaufbe-
reitungszeiten zur Verfügung. Wird hier zuviel Kraftstoff
eingespritzt, so ist der Verbrennungswirkungsgrad schlecht,
da der Kraftstoff nicht mehr vollständig verbrennen kann und
es treten hohe CO- Emissionen und Rauchbildung auf. Die
Grenzwerte hierfür werden betriebspunktabhängig durch Versu-
che ermittelt und in entsprechenden Kennfeldern abgelegt.

Das Aufteilungsverhältnis zwischen MFF_1 und MFF_2 kann so
eingestellt werden, das sich Vorteile aus beiden Effekten

nutzen lassen und so eine Optimierung von Maximalleistung und Verbrauch resultieren.

Im vollastnahmen Betrieb einer aufgeladenen Brennkraftmaschine bewirkt die positive Druckdifferenz zwischen Einlass- und Auslassseite ($P_{Einlass} > P_{Auslass}$) - bei entsprechender Ventilüberschneidung-, dass Frischluft zur Abgasseite gespült wird. Die Spülfluftmasse erhöht den Durchsatz durch die Brennkraftmaschine ohne an der Verbrennung teilzunehmen. Unter Spülen wird dabei der Effekt verstanden, dass Frischluft ohne an der Verbrennung im Zylinder teilzunehmen, durch die Brennkraftmaschine durchgeschoben wird. Es treten insbesondere folgende Vorteile für das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine auf:

15

Bei $\lambda_{Abgas} = 1$ (Homogenbetrieb der Brennkraftmaschine) findet bei Spülfluft eine Verbrennung im Zylinder mit $\lambda_{Zylinder} < 1$ statt. Durch die Verbrennung im Fetten wird die Klopfneigung reduziert.

20

Durch Spülen wird der Restgasanteil im Brennraum und somit die Klopfneigung vermindert. Die Minimierung des Restgasanteils ist an der Vollast von entscheidender Bedeutung um eine maximale Zylinderfüllung zu erreichen und diese Füllung auch effektiv, d.h. mit günstiger Verbrennungsschwerpunktlage umzusetzen.

30

Die zusätzliche Spülfluftmenge erhöht den Massenstrom durch die Turbine, wodurch bei niedrigen Drehzahlen der Brennkraftmaschine sowohl das Ansprechverhalten (Vermeidung des sogenannten Turbolochs), als auch die erreichbare Vollast gesteigert werden können.

35

Das Verhältnis der im Zylinder verbleibenden Luftmasse zur gesamten, während eines Arbeitsspieles angesaugten Luftmasse wird als trapping efficiency TE bezeichnet:

10

$$TE = \frac{\text{Luftmasse Zylinder}}{\text{Gesamte angesaugte Luftmasse}} = \frac{M_{Cyl}}{M_{Cyl} + M_{Scav}} \quad (1)$$

Die gesamte angesaugte Luftmasse setzt sich zusammen aus der Luftmasse M_{Cyl} , die im Zylinder verbleibt und der SpülLuftmasse M_{Scav} , also derjenigen Luftmasse, die durch den Zylinder gespült wird. Aus dem Zusammenhang (1) folgt, dass $TE \leq 1$ ist. Je größer die SpülLuftmasse M_{Scav} ist, desto kleiner ist der Wert für TE. D.h. der Luftpassenmesser 13 (Fig. 1) misst die gesamte Luftmasse, die insgesamt angesaugt wird, die sich dann aber aufteilt über die Trapping Efficiency TE in eine Luftmasse, die an der Verbrennung teilnimmt und in eine Luftmasse, die durch die Brennkraftmaschine durchgespült wird.

Das im Abgas mittels der Lambdasonde 22 gemessene Lambda λ_{Ex} stimmt, aufgrund der nicht an der Verbrennung teilnehmenden SpülLuftmasse M_{Scav} , nicht mit dem Verbrennungslambda λ_{Cyl} überein. Es gilt folgender Zusammenhang:

$$TE \cdot \lambda_{Ex} = \lambda_{Cyl} \quad (2)$$

20

Im Teillast und vollastnahmen Betrieb wird das verbrauchs- und leistungsoptimale Aufteilungsverhältnis der Einspritzmengen MFF_1 zu MFF_2 sowie deren jeweiligen Werte für die Einspritzendezeitpunkte EOI_1 und EOI_2 über Kennfelder KF1, KF2 bestimmt:

$$\begin{aligned} MFF_1 &= MFF * KF(MAF_KGH, N) \\ MFF_2 &= MFF - MFF_1 \\ EOI_1 &= EOI_1(MAF_KGH, N, FUP) \\ EOI_2 &= EOI_2(MFF_2, N, TCO, FUP) \end{aligned} \quad (3)$$

Die während des Ansaugtaktes einzuspritzende Kraftstoffmenge MFF_1 wird durch Multiplikation der gesamten Kraftstoffmenge MFF mit einem Aufteilungsfaktor erhalten, der in Abhängigkeit von dem Wert der vom Luftpassenmesser 13 erfassten Luftmasse

MAF_KGH und der Drehzahl N der Brennkraftmaschine aus einem Kennfeld KF ausgelesen wird. Die während des Kompressionstaktes einzuspritzende Kraftstoffmenge MFF_2 wird durch Differenzbildung aus den Werten für MFF und MFF_1 erhalten. Eine typische Aufteilung zwischen den einzelnen Kraftstoffmengen MFF_1 und MFF_2 besteht darin, dass in den Ansaugtakt 80% und in den Kompressionsstakt 20% der gesamten Kraftstoffmenge MFF eingespritzt wird.

Der Wert für den Einspritzendezeitpunkt EOI_1 wird in Abhängigkeit von dem Wert MAF_KGH, der Drehzahl N der Brennkraftmaschine und dem Kraftstoffdruck FUP aus einem Kennfeld KF1 ausgelesen.

Der Wert für den Einspritzendezeitpunkt EOI_2 wird in Abhängigkeit dem Wert MFF_2, der Drehzahl N der Brennkraftmaschine, der Kühlmitteltemperatur TCO der Brennkraftmaschine und dem Kraftstoffdruck FUP aus einem Kennfeld KF2 ausgelesen. Dies kann ein dreidimensionales Kennfeld sein, oder eine Kombination mehrerer, einzelner Kennfelder.

Wird im vollastnahen Betrieb der Brennkraftmaschine (Drosselklappe voll offen) der Luftdurchsatz mittels Spülen erhöht, so ergibt sich die Möglichkeit die Einspritzmengen-Sollwerte MFF_1 u. MFF_2 gemäß der eingestellten Trapping Efficiency TE vorzugeben.

Unter dem Begriff „vollastnaher Bereich“ wird der Bereich verstanden, der zwischen der Vollast bei Saugbetrieb, also der max. Druck, der bei einem reinen Saugmotor ohne Aufladung erreicht werden kann (Saugrohrdruck gleich Umgebungsdruck, 1000 hascal) und maximaler Vollast, also der Druck, den man mittels der Aufladung erreichen kann (z.B. 2000 hascal), liegt.

Die während des Ansaugtaktes einzuspritzende Kraftstoffmenge MFF_1 wird dabei so bemessen, dass sich ein stöchiometrisches

Verbrennungslambda λ_{cy1} ergibt. Die Menge des während des Kompressionstaktes einzuspritzende Kraftstoffmenge MFF_2 ergibt sich aus der Forderung eines stöchiometischen Abgaslambdas λ_{Ex} .

5

$$\begin{aligned} \text{MFF_1} &= \text{MFF} * \bar{\text{TE}} \\ \text{MFF_2} &= \text{MFF} - \text{MFF_1} \\ \text{EOI_1} &= \text{EOI_1}(\text{MAF_KGH}, N, \text{FUP}) \\ \text{EOI_2} &= \text{EOI_2}(\text{MFF_2}, N, \text{TCO}, \text{FUP}) \end{aligned} \quad (4)$$

- Die während des Ansaugtaktes einzuspritzende Kraftstoffmenge MFF_1 wird durch Multiplikation der gesamten Kraftstoffmenge MFF mit dem Wert für die Trapping Efficiency TE erhalten. Die während des Kompressionstaktes einzuspritzende Kraftstoffmenge MFF_2 wird durch Differenzbildung aus den Werten für MFF und MFF_1 erhalten.
- 15 Die Werte für die Einspritzendezeitpunkte EOI_1 und EOI_2 werden analog wie oben bereits anhand der Gleichungen (3) beschrieben aus weiteren Kennfeldern K4, K5, erhalten.

Während des Betriebes der Brennkraftmaschine kann sogenannte Klopfen auftreten, d.h. unkontrollierte Verbrennungen z.B. an heißen Stellen des Brennraumes. Durch klopfende Verbrennung verursachte Verbrennungsdruckschwankungen werden in der Regel durch am Kurbelgehäuse montierte Körperschallsensoren detektiert. Nach entsprechender Signalaufbereitung resultiert das sogenannte Klopsignal KNKS, welches das Klopfgeräusch eines Zylinders während eines Arbeitstaktes charakterisiert. Ausgehend von dem Klopsignal KNKS wird, bei kloppfreier Verbrennung, ein zylinderindividueller gleitender Mittelwert über alle Arbeitstakte bestimmt. Dieser sogenannte Geräuschwert NL charakterisiert den Motorgeräuschpegel eines Zylinders bei nicht klopfender Verbrennung. Durch Vergleich des momentanen Geräuschwertes KNKS mit einer aus dem Geräuschwert NL errechneten Klopschwelle THD lässt sich erkennen, wann in einem Zylinder klopfende Verbrennung auftritt.

Die bekannten Anti-Klopfregelungsverfahren korrigieren in Abhängigkeit der Überschreitung der Klopfsschwelle THD durch das Klopfsignal KNKS den Zündwinkel des betroffenen Zylinders in

- 5 „Richtung spät“, womit die Klopfentendenz vermindert wird. Tritt nach einer Zündwinkelkorrektur am klopfenden Zylinder kein erneutes Klopfereignis auf, wird der Zündwinkeleingriff über einen Integrator auf Null zurückgefahrene.

- 10 Nachteil dieser bekannten Verfahren ist eine Verlagerung des Verbrennungsschwerpunktes über den Zündwinkeleingriff in „Richtung Spät“, woraus negative Auswirkungen auf den Kraftstoffverbrauch und die Abgastemperatur resultieren.

- 15 Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird die Klopfentendenz über eine entsprechende zylinderindividuelle Aufteilung der Einspritzmengen MFF_{1cyl_x} und MFF_{2cyl_x} vermindert. Ausgehend von den oben beschriebenen Einspritzsollwerten wird bei beginnender klopfender Verbrennung die Kraftstoffmenge MFF_{2cyl_x} , die während des Kompressionstaktes eingespritzt wird unter entsprechender Verminderung der Kraftstoffmenge MFF_{1cyl_x} , die in den Ansaugtakt eingespritzt wird, erhöht.

- 20 Die in den Kompressionstakt abgesetzte erhöhte zweite Einspritzung MFF_{2cyl_x} führt durch die Verdampfung des Kraftstoffs im Brennraum zu einer zusätzlichen inneren Ladungskühlung. Dieser Effekt senkt über die verminderte maximale Verbrennungstemperatur die Neigung zur klopfenden Verbrennung. Der Zündwinkel muss nicht nach spät verschoben werden. 30 Verbrauch und Abgastemperatur werden nicht negativ beeinflusst.

- Übersteigt das Klopfsignal KNKS eines Zylinders Cyl x die Klopfsschwelle THD_1 so wird die zylinderindividuelle Kraftstoffmenge MFF_{1cyl_x} über einen Wert $MFF_{DEC_1cyl_x}$ vermindert und die zylinderindividuelle Kraftstoffmenge MFF_{2cyl_x} erhöht. Wurden nach Überschreiten der Klopfsschwelle THD_1 die

einzuspritzenden Kraftstoffmengen angepasst und wird kein erneutes Klopfereignis erkannt, so wird der Eingriff auf das Einspritzverhältnis über einen Integrator zurückgefahren, $MFF_DEC_1cyl_x$ wird also wieder auf 1 inkrementiert.

5

$$MFF_DEC_{Cyl_x} = KF_3(MAF_KGH, N, KI)$$

$$MFF_1_{Cyl_x} = MFF_1 \cdot MFF_DEC_{Cyl_x} \quad (5)$$

$$MFF_2_{Cyl_x} = MFF - MFF_1_{Cyl_x}$$

Der Faktor $MFF_DEC_1cyl_x$, mit dem die zylinderindividuelle Kraftstoffmenge $MFF_1_{Cyl_x}$ verringert wird, ist abhängig von der Luftmasse MAF_KGH , der Drehzahl N der Brennkraftmaschine und der Klopfintensität KI , definiert als Differenz zwischen dem Klopfsignal $KNKS$ und der Klopfschwelle THD_1 in einem Kennfeld $KF3$ abgelegt.

Die zylinderindividuelle Kraftstoffmenge $MFF_1_{Cyl_x}$ ergibt sich dann aus der Multiplikation des Wertes für die während des Ansaugtaktes einzuspritzenden Kraftstoffmenge MFF_1 mit dem aus dem Kennfeld ausgelesenen Faktor für die Verringerung. Die zylinderindividuelle Kraftstoffmenge $MFF_2_{Cyl_x}$ wird durch Differenzbildung aus den Werten für MFF und $MFF_1_{Cyl_x}$ erhalten.

Ist nun das Klopfereignis so stark, dass eine Korrektur über das Einspritzverhältnis nicht ausreicht, wird ein zusätzlicher Eingriff über den Zündwinkel erforderlich. Dieser Fall tritt ein, wenn das Klopfsignal $KNKS$ eine weitere Klopfschwelle THD_2 überschreitet, wobei $THD_2 > THD_1$ appliziert wird. Der zusätzliche Zündwinkeleingriff erfolgt, wie oben bei der Beschreibung des zündwinkelbasierten Anti-Klopfregelungsverfahren dargestellt.

30

Die beiden Schwellenwerte THD_1 , THD_2 werden experimentell für die Brennkraftmaschine ermittelt und sind in der Speicheranrichtung 24 abgelegt.

Das erfindungsgemäße Verfahren wurde anhand einer Brennkraftmaschine erläutert, das als Aufladeeinrichtung einen Abgas-turbolader aufweist. Das Verfahren ist aber unabhängig von der Art der Aufladung und ist mit jeder anderen Aufladevor-
5 richtung wie Kompressoren, elektrische Verdichter oder eine Kombination der genannten Vorrichtungen ausführbar. Sie muss lediglich geeignet sein, auf der Saugseite einen Druck zu erzeugen, der größer ist als der Druck auf der Abgasseite, so dass ein Spülen möglich ist.

Patentansprüche:

- 5 1. Verfahren zum Steuern einer Brennkraftmaschine (10), wo-
 bei
 - die den Brennräumen der Brennkraftmaschine (10) zugeführte
 Luft mittels einer Aufladevorrichtung (25, 26) vorverdich-
 tet wird,
- 10 - mittels einer variablen Nockenwellenverstellung die Ven-
 tilüberschneidung der Gaswechselventile der Brennkraftma-
 schine eingestellt wird,
- 15 - die zu einem homogenen Betrieb der Brennkraftmaschine (10)
 benötigte Kraftstoffeinspritzmenge (MFF) ermittelt und di-
 rekt in die Brennräume der Brennkraftmaschine (10) einge-
 spritzt wird,
- 20 - die Kraftstoffeinspritzmenge (MFF) in zwei Teilmengen
 (MFF_1, MFF_2) aufgeteilt wird,
 - eine erste Teilmenge (MFF_1) in den Ansaugtakt und eine
 zweite Teilmenge (MFF_2) in den Kompressionstakt einge-
 spritzt wird,
- 25 - das Aufteilungsverhältnis zwischen den beiden Teilmengen
 (MFF_1, MFF_2) abhängig von dem Lastbereich der Brenn-
 kraftmaschine (10) festgelegt wird.
- 30 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
 bei Teillast und im volllastnahen Betrieb der Brennkraftma-
 schine (10) die Ventilüberschneidung derart eingestellt wird,
 dass keine Frischluft zur Abgasseite der Brennkraftmaschine
 gespült wird und das Aufteilungsverhältnis der beiden Teil-
 mengen (MFF_1, MFF_2), sowie deren Einspritzendezeitpunkte
 (EOI_1, EOI_2) anhand von Kennfeldern (KF) festgelegt werden.
- 35 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass
 die in den Ansaugtakt einzuspritzende Kraftstoffmenge (MFF_1)
 durch Multiplikation der gesamten Kraftstoffmenge (MFF) mit
 einem Aufteilungsfaktor erhalten wird, der in Abhängigkeit

von der Luftmasse (MAF_{KGH}) und der Drehzahl (N) der Brennkraftmaschine (10) festgelegt ist.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die in den Kompressionstakt einzuspritzende Kraftstoffmenge (MFF_2) durch Differenzbildung aus den Werten für die gesamte Kraftstoffmenge (MFF) und der in den Ansaugtakt einzuspritzenen Kraftstoffmenge (MFF_1) erhalten wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Vollastnahmen Betrieb der Brennkraftmaschine (10) die Ventilüberschneidung derart eingestellt wird, dass Frischluft zur Abgasseite der Brennkraftmaschine gespült wird und das Aufteilungsverhältnis der beiden Teilmengen (MFF_1 , MFF_2) über das Verhältnis (TE) der im Zylinder der Brennkraftmaschine (10) verbleibenden Luftmasse ($Mcyl$) zur gesamten, während eines Arbeitsspiels angesaugten Luftmasse ($Mcyl + Mscav$) festgelegt wird.
- 10 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die in den Ansaugtakt einzuspritzende Kraftstoffmenge (MFF_1) durch Multiplikation der gesamten Kraftstoffmenge mit dem Verhältnis (TE) der im Zylinder der Brennkraftmaschine (10) verbleibenden Luftmasse ($Mcyl$) zur gesamten, während eines Arbeitsspiels angesaugten Luftmasse ($Mcyl + Mscav$) erhalten wird.
- 15 7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die in den Kompressionstaktes einzuspritzende Kraftstoffmenge (MFF_2) durch Differenzbildung aus den Werten für die gesamte Kraftstoffmenge (MFF) und der in den Ansaugtakt einzuspritzenen Kraftstoffmenge (MFF_1) erhalten wird.
- 20 8. Verfahren nach Anspruch 2 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert für den Einspritzendezeitpunkt (EOI_1) in Abhängigkeit von der Luftmasse (MAF_{KGH}), der Drehzahl (N) und dem Kraftstoffdruck (FUP) festgelegt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 2 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert für den Einspritzendezeitpunkt (EOI_2) in Abhängigkeit von der in den Kompressionstakt einzuspritzenden Kraftstoffmenge (MFF_2), der Drehzahl (N), der Kühlmitteltemperatur (TCO) der Brennkraftmaschine und dem Kraftstoffdruck (FUP) festgelegt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei Auftreten von klopfender Verbrennung in einem Zylinder der Brennkraftmaschine (10) das Aufteilungsverhältnis zwischen den beiden Teilmengen (MFF_1, MFF_2) zylinderindividuell geändert wird.
15. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Kraftstoffmenge (MFF_2cyl_x,), die in den Kompressionstaktes eingespritzt wird, erhöht wird und die Kraftstoffmenge (MFF_1cyl_x,) die in den Ansaugtaktes eingespritzt wird, vermindert wird.
20. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Luft mittels eines Abgasturboladers vorverdichtet wird.
25. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Luft mittels eines Kompressors vorverdichtet wird, der von der Brennkraftmaschine unmittelbar oder mittelbar angetrieben wird.
30. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Luft mittels eines elektrisch angetriebenen Verdichters vorverdichtet wird.
35. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstellung der Nockenwelle stufenlos erfolgt.
16. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstellung der Nockenwelle in Stufen erfolgt.

Zusammenfassung

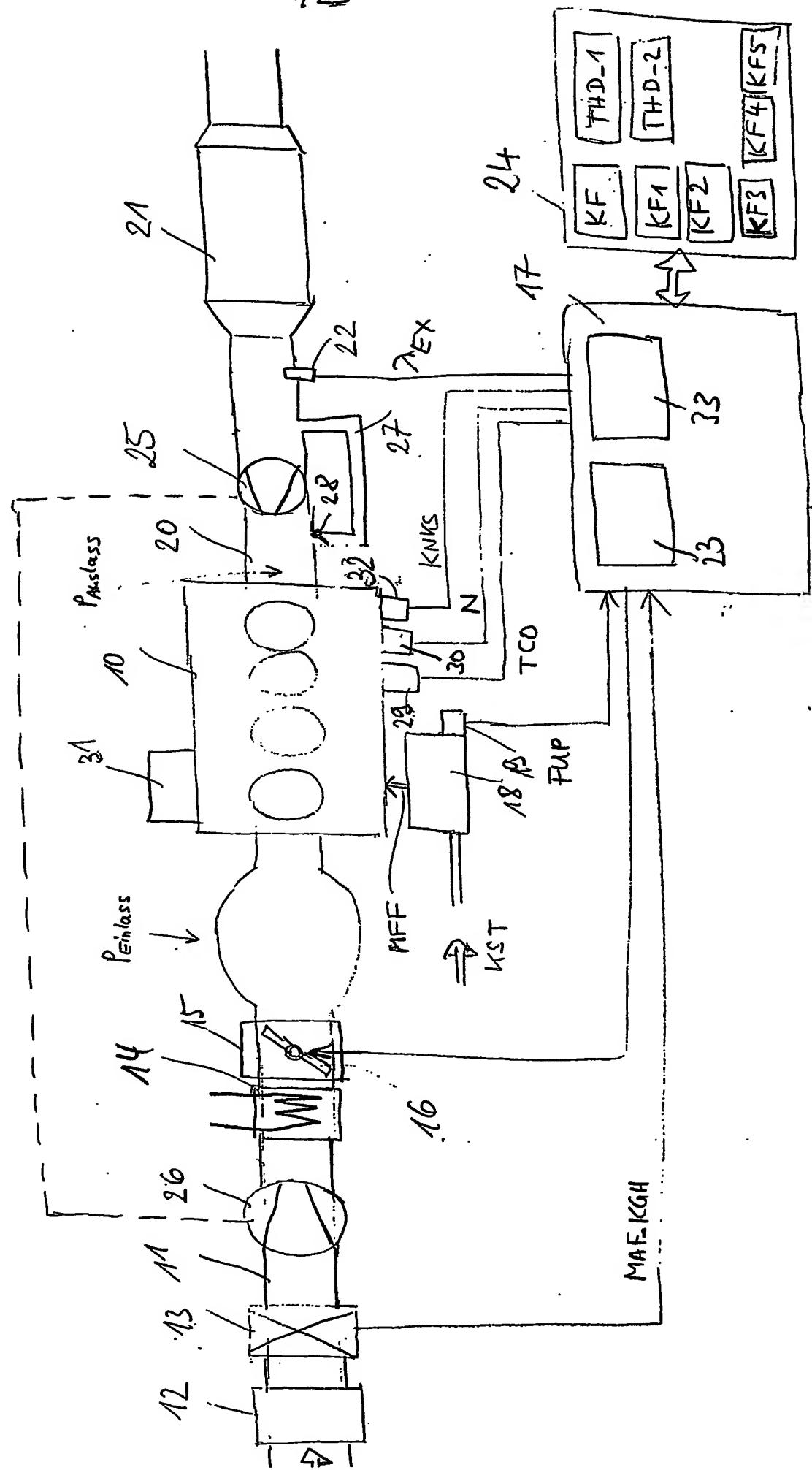
Verfahren zum Steuern einer mit Kraftstoffdirekteinspritzung arbeitenden Brennkraftmaschine

5

Die den Brennräumen der Brennkraftmaschine (10) zugeführte Luft wird mittels einer Aufladevorrichtung (25, 26), insbesondere mittels eines Abgasturboladers vorverdichtet. Mittels einer variablen Nockenwellenverstellung wird die Ventilüberschneidung der Gaswechselventile der Brennkraftmaschine eingestellt. Die zu einem homogenen Betrieb der Brennkraftmaschine (10) benötigte Kraftstoffeinspritzmenge (MFF) wird ermittelt und direkt in die Brennräume der Brennkraftmaschine (10) eingespritzt wird, wobei diese gesamte Kraftstoffeinspritzmenge (MFF) in zwei Teilmengen (MFF_1, MFF_2) aufgeteilt wird. Eine erste Teilmenge (MFF_1) wird in den Ansaugtakt und eine zweite Teilmenge (MFF_2) in den Kompressions- takt eingespritzt. Das Aufteilungsverhältnis zwischen den beiden Teilmengen (MFF_1, MFF_2) wird abhängig von dem Lastbereich der Brennkraftmaschine (10) festgelegt.

Figur 2

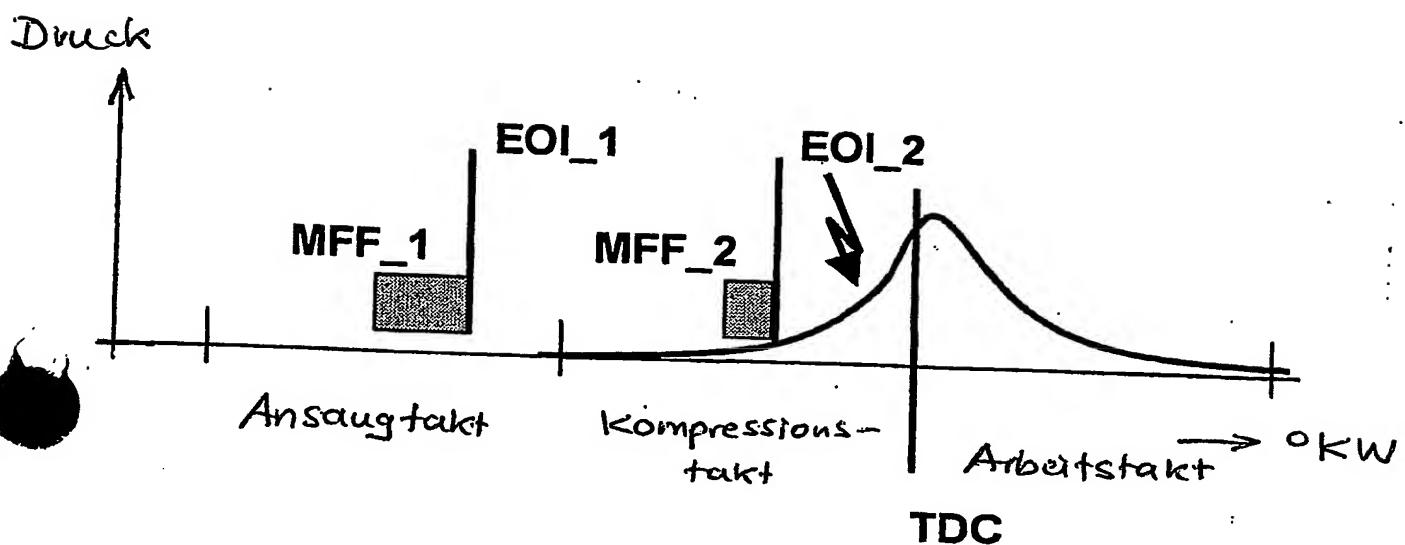
FIG 1



1002P19714

Z/L

FIG 2



PCT Application
DE0303244

